

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
17 avril 2003 (17.04.2003)

PCT

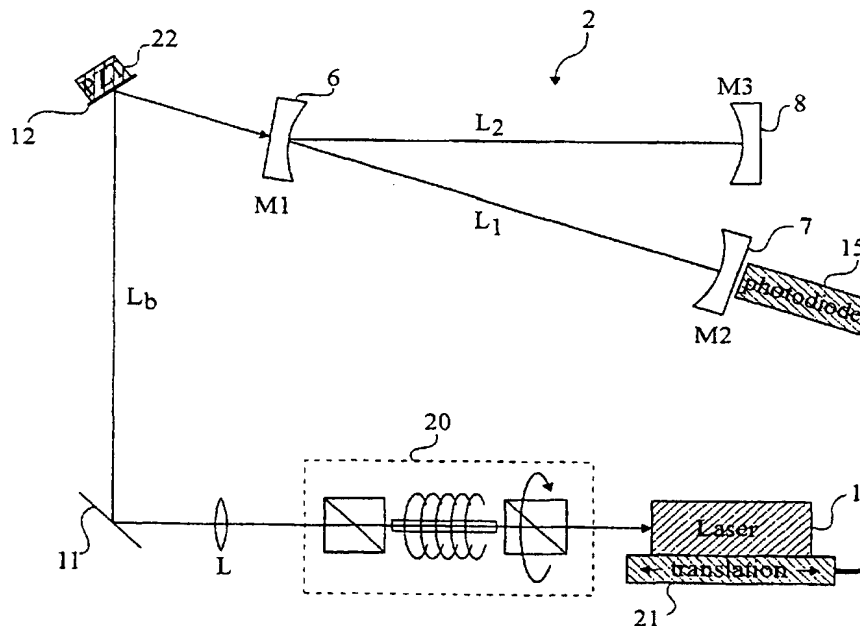
(10) Numéro de publication internationale  
**WO 03/031949 A1**

- (51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> : **G01N 21/39**
- (21) Numéro de la demande internationale : **PCT/FR02/03438**
- (22) Date de dépôt international : 9 octobre 2002 (09.10.2002)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :  
01/13052 10 octobre 2001 (10.10.2001) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **UNIVERSITE JOSEPH FOURIER [FR/FR]**; 621, avenue Centrale, B.P. 53, F-38041 Grenoble Cedex 9 (FR).
- (72) Inventeurs; et  
(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **MORVILLE, Jérôme [FR/FR]**; 62, rue du Drac, F-38000 Grenoble (FR). **ROMANINI, Daniele [IT/FR]**; 16, rue Génissieu, F-38000 Grenoble (FR). **CHENEVIER, Marc [FR/FR]**; Le Clos, F-38330 Saint Nazaire les Eymes (FR).
- (74) Mandataire : **DE BEAUMONT, Michel**; Cabinet Michel de Beaumont, 1, rue Champollion, F-38000 Grenoble (FR).
- (81) États désignés (national) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: LASER DEVICE COUPLED TO A CAVITY BY OPTICAL FEEDBACK FOR DETECTING GAS TRACES

(54) Titre : DISPOSITIF A LASER COUPLE A UNE CAVITE PAR RETROACTION OPTIQUE POUR LA DETECTION DE TRACES DE GAZ



(57) Abstract: The invention concerns a device for detecting gas in the form of traces with a semiconductor laser coupled to a resonant optical cavity containing a chemical species to be analyzed. Said device comprises a resonant optical cavity (2) containing a chemical species to be analyzed, a semiconductor laser (1) coupled by optical feedback to the resonant cavity and designed to be frequency scanned, means for setting laser-cavity coupling rate, and means for fine tuning (22) the optical feedback phase, and means for measuring (15) light transmitted by the cavity.

[Suite sur la page suivante]

WO 03/031949 A1



(84) États désignés (*régional*) : brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**

— avec rapport de recherche internationale

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

(57) **Abrége :** L'invention concerne un dispositif de détection de gaz à l'état de traces par un laser à semiconducteur couplé à une cavité optique résonante contenant une espèce chimique à analyser. Ce dispositif comprend une cavité optique résonante (2) contenant une espèce chimique à analyser; un laser à semi-conducteur (1) couplé par rétroaction optique à la cavité optique et apte à être balayé en fréquence; un moyen de réglage du taux de couplage laser-cavité; un moyen de réglage fin (22) de la phase de la rétroaction optique; et un moyen de mesure (15) de la lumière transmise par la cavité.

**DISPOSITIF À LASER COUPLÉ À UNE CAVITÉ PAR RÉTROACTION  
OPTIQUE POUR LA DÉTECTION DE TRACES DE GAZ**

La présente invention concerne la détection de gaz à l'état de traces. Elle concerne plus particulièrement un procédé de mesure d'absorption par spectroscopie dans une cavité résonante.

5           La figure 1 illustre le schéma de base d'un procédé de mesure d'absorption par spectroscopie dans une cavité résonante. De la lumière est émise par un laser 1 dans une cavité optique résonante 2 par l'intermédiaire d'un système de couplage optique 3. La lumière sortant de la cavité résonante est reçue par un  
10 photodétecteur 4 et est envoyée à un analyseur 5. Si la fréquence du laser varie, on aura un maximum du signal reçu par le photodétecteur pour chaque mode de la cavité. Si la cavité contient une espèce chimique présentant une raie d'absorption aux longueurs d'onde des photons injectés, la transmission sera  
15 réduite en fonction de l'absorption. A partir du spectre de transmission, on obtient le spectre d'absorption de la même façon que pour un spectre d'absorption classique directe. Mais cette fois, le signal d'absorption est multiplié par la finesse de la cavité et l'on devrait normalement pouvoir faire des  
20 mesures d'absorption avec une très grande sensibilité. Une courbe de transmission représentant l'intensité transmise en

fonction de la fréquence est illustrée en figure 2A, et l'on déduit de cette courbe l'absorption de l'espèce chimique contenue dans la cavité illustrée en figure 2B.

Malheureusement en pratique, ces procédés de mesure directe par spectroscopie dans une cavité résonante s'avèrent impossibles ou très complexes à mettre en oeuvre. En effet, il faut pouvoir injecter dans la cavité une puissance suffisante, il faut que cette puissance soit constante ou suive une variation connue, et il faut que le signal détecté ne soit pas trop bruité.

Pour éviter ces inconvénients, on a eu recours à des procédés de détection par mesure de décroissance d'énergie optique dans une cavité résonante, couramment désignés dans la technique par le sigle CRDS d'après les termes anglo-saxons "Cavity Ring-Down Spectroscopy". Selon ce procédé, le faisceau laser est envoyé dans la cavité, puis l'injection de photons est brutalement interrompue. Les photons restent alors piégés dans la cavité et leur intensité décroît de façon exponentielle en fonction du temps. Si la cavité est vide, ou pour une longueur d'onde qui ne correspond pas à une raie d'absorption d'un gaz contenu dans la cavité, cette décroissance présentera une certaine constante de temps déterminée essentiellement par les pertes des miroirs à la longueur d'onde considérée. Si la cavité contient une espèce chimique présentant une raie d'absorption à la longueur d'onde des photons injectés, cette constante de temps sera réduite. Un avantage de ce procédé est que l'on s'affranchit du bruit dû aux fluctuations de l'intensité injectée dans la cavité.

Pour injecter une quantité suffisante de lumière dans la cavité résonante, on a proposé un procédé de type CRDS dans lequel la fréquence d'un laser continu à semiconducteur est asservie par une rétroaction optique en provenance de la cavité. Un tel procédé est décrit dans la demande de brevet PCT WO99/57542. Ce procédé donne des résultats satisfaisants, mais la durée de détermination de la courbe d'absorption est

relativement longue puisque, à chaque mesure, un seul point de la courbe d'absorption est calculé.

Ainsi, un objet de la présente invention est de prévoir un procédé de mesure de traces d'une espèce chimique par l'utilisation directe d'une technique de spectroscopie à cavité résonante dans laquelle on optimise l'injection de photons dans la cavité résonante à partir d'un laser continu.

Pour atteindre cet objet, la présente invention prévoit un dispositif de détection de gaz à l'état de traces comprenant une cavité optique résonante contenant une espèce chimique à analyser ; un laser sensible à une rétroaction optique, couplé par rétroaction optique à la cavité optique et apte à être balayé en fréquence ; un moyen de réglage du taux de couplage laser-cavité ; un moyen de réglage fin de la phase de la rétroaction optique ; et un moyen de mesure de la lumière transmise par la cavité.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, ce dispositif comprend un moyen de réglage grossier de la distance du laser à la cavité.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, le moyen de réglage fin de la phase de la rétroaction optique est un moyen de réglage de la distance optique laser-cavité.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, le moyen de réglage fin est un miroir de renvoi monté sur une céramique piézo-électrique disposé dans le chemin optique du laser à la cavité.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, le moyen de réglage du taux de couplage laser-cavité est un atténuateur optique atténuant la lumière renvoyée par la cavité au laser, tel qu'une cellule de Faraday.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, le laser est une diode laser.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, la cavité est du type en V, comprenant un premier miroir oblique par rapport à la direction d'incidence du laser, un deuxième

miroir orthogonal à la direction d'incidence du laser, et un troisième miroir formant cavité avec les deux premiers miroirs.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, la cavité est une cavité classique à deux miroirs.

5           Selon un mode de réalisation de la présente invention, le rapport entre la distance laser-cavité et la longueur d'un ou plusieurs bras de la cavité est égal à un nombre entier, à l'inverse d'un nombre entier ou à un rapport de nombres entiers.

10           La présente invention vise aussi un procédé d'utilisation du dispositif ci-dessus consistant à faire varier le chemin optique laser-cavité d'une valeur de l'ordre de la longueur d'onde du laser.

15           Ces objets, caractéristiques et avantages, ainsi que d'autres de la présente invention seront exposés en détail dans la description suivante de modes de réalisation particuliers faite à titre non-limitatif en relation avec les figures jointes parmi lesquelles :

20           la figure 1 représente le schéma général d'un dispositif mettant en oeuvre un procédé de mesure d'absorption par spectroscopie dans une cavité résonante ;

          les figures 2A et 2B représentent respectivement la transmission d'une cavité résonante contenant une espèce chimique excitée mode par mode à intensité constante et la courbe d'absorption de l'espèce ;

25           les figures 3A à 3C représentent des courbes en fonction de la fréquence, respectivement pour une raie d'absorption, pour une raie laser et pour des modes longitudinaux d'une cavité ;

30           les figures 4A et 4B représentent des courbes caractérisant l'accrochage en fréquence entre un laser et une cavité en présence de rétroaction optique ;

          La figure 5 représente l'allure de la courbe de transmission de la cavité obtenue pour divers réglages de la longueur de la cavité par rapport à la distance laser-cavité ;

la figure 6 représente, pour une distance donnée laser-cavité, l'influence d'une faible variation (de l'ordre de  $\lambda/2$ ) de cette distance ;

la figure 7 représente un mode de réalisation particulier d'un dispositif selon la présente invention ;

la figure 8 représente un autre mode de réalisation particulier d'un dispositif selon la présente invention ; et

la figure 9 représente un exemple de spectre obtenu selon l'invention pour une distance laser-cavité accordée.

Avant de décrire la présente invention, la demanderesse tient à rappeler que, dans le domaine de la spectroscopie optique, des termes tels que raie fine, système monomode, etc. ont souvent des acceptions différentes selon les auteurs. On va donc préciser ci-dessous en relation avec les figures 3A à 3C le vocabulaire qui sera utilisé ici.

La figure 3A représente l'intensité d'une raie d'absorption d'une espèce gazeuse en fonction de la fréquence. La raie a une fréquence centrale  $f_0$  et une largeur  $\Delta f_0$ . A titre d'exemple, la raie d'absorption à 1651 nm du méthane présente une largeur de raie d'absorption  $\Delta f_0 = 4,4$  GHz (ce qui correspond à une plage de longueurs d'onde de 0,04 nm).

Un laser continu tel qu'une diode laser ou autre laser à semiconducteur à fréquence réglable émettra une raie  $f_1$  de largeur  $\Delta f_1$  telle que représentée en figure 3B. De façon générale,  $\Delta f_1$  sera nettement inférieure à la largeur  $\Delta f_0$  de la raie d'absorption, et l'on se placera toujours ici dans ce cas.

Par ailleurs, comme l'illustre la figure 3C, une cavité optique résonante de longueur donnée pourra résonner sur l'une ou l'autre de plusieurs fréquences ou modes longitudinaux espacés d'une distance FSR ou intervalle spectral libre. Pour la simplicité de l'exposé on appellera  $f_2$  la fréquence d'un mode de la cavité en notant qu'il faudrait parler d'une fréquence  $f_2 + k\text{FSR}$  où  $k$  est un entier positif, négatif ou nul. Pour chacun des modes longitudinaux, la largeur de résonance possible  $\Delta f_2$  est très faible, c'est-à-dire petite devant la largeur  $\Delta f_1$  de la

raie laser qui est elle-même petite devant la largeur  $\Delta f_0$  de la raie d'absorption. On considérera le cas fréquent en pratique où  $\Delta f_1$  est inférieure à la distance FSR entre modes de la cavité. Par exemple, FSR pourra être égal à 300 MHz (environ 10 fois  
5 moins que la largeur de la raie d'absorption à étudier).

Comme le représente la figure 3B, l'énergie de la raie laser est répartie en moyenne dans le temps sur les fréquences appartenant à la largeur  $\Delta f_1$  et seule la correspondance hasardeuse des fréquences comprises dans la largeur du mode de la  
10 cavité  $\Delta f_2$  permettra l'injection de la cavité. On voit donc que la quantité de photons injectée dans la cavité est faible devant l'intensité totale de la raie laser. En outre, cette quantité sera fluctuante du fait des fluctuations de la fréquence laser et les mesures seront affectées d'un bruit important. Selon la  
15 présente invention, la cavité résonante est utilisée comme source d'une rétroaction optique positive aux fréquences des modes de résonance vers le laser qui est choisi d'un type réagissant fortement à une rétroaction optique.

On rappellera que la cavité résonante pour être  
20 efficace du point de vue de la détection de l'absorption doit présenter des miroirs hautement réflecteurs, par exemple des miroirs dont le coefficient de réflexion s'approche de 99,998, ce qui correspond à une finesse de l'ordre de 150000. Ainsi, quand le laser envoie de la lumière sur le miroir d'entrée 2-1  
25 de la cavité résonante, cette lumière est pour la plus grande partie renvoyée sur le laser. Ceci est susceptible de perturber le laser. C'est pourquoi dans les montages classiques on utilise un isolateur optique entre le laser et la cavité. Dans le cadre de la présente invention, on utilise un montage propre à  
30 renvoyer sélectivement sur le laser une bande de longueur d'onde de largeur correspondant à la largeur d'un mode de la cavité pour une fréquence de résonance de la cavité. Si le laser émet de l'énergie autour de la fréquence  $f_1$  (figure 3B), et que la raie laser contient de l'énergie à une fréquence  $f_2$ , la cavité  
35 entre en résonance et on ne renvoie sur le laser que les ondes



correspondant à cette fréquence de résonance. Si le laser est sensible à une rétroaction optique, ce qui est le cas par exemple pour les lasers à semiconducteur, la raie du laser s'affinera et s'intensifiera sur la largeur de bande renvoyée.

5 Ainsi, le laser, au lieu d'envoyer une raie de largeur  $\Delta f_1$  centrée sur la fréquence  $f_1$ , émettra une raie intense de largeur inférieure à  $\Delta f_2$  centrée sur la fréquence  $f_2$  d'un mode de la cavité, comme cela est représenté en pointillés en figure 3B.

10 Ainsi, le laser n'enverra dans la cavité que des photons à la fréquence utile (une fréquence de résonance de la cavité) et l'injection atteindra son optimum. On peut dire que le laser s'asservit sur un mode de la cavité.

En considérant une diode laser, quand une rampe de courant est appliquée, comme le représente la courbe en pointillés 40 de la figure 4A, la longueur d'onde  $\lambda$  émise tend à croître progressivement. Comme on l'a indiqué, en raison du couplage avec la cavité, pour chacune des fréquences propres ou fréquences des modes longitudinaux de la cavité  $f_{20}$ ,  $f_{21}$ ,  $f_{22}$ ,  $f_{23}$ ... la fréquence du laser aura tendance à se verrouiller sur

15 la fréquence considérée. Ainsi, la transmission de la cavité est sensiblement telle que représentée en figure 4B, c'est-à-dire que la cavité transmet pour chaque fréquence de verrouillage  $f_{20}$ ,  $f_{21}$ ,  $f_{22}$ ,  $f_{23}$ ...

20

Ce qui précède décrit le cas idéal où la rétroaction optique est optimisée pour tous les modes de la cavité couverts par le balayage laser. En pratique, cette situation n'est pas obtenue : l'intensité diffère d'un mode à l'autre et on observe des instabilités.

25

L'objet de la présente invention est de prévoir des aménagements au montage optique permettant d'obtenir des mesures satisfaisantes.

30

Selon un premier aspect de la présente invention, on prévoit d'améliorer le couplage laser-cavité. En effet, dans de nombreux cas, l'action d'une rétroaction optique sur un laser fait que l'accrochage de celui-ci sur un mode de la cavité est

35

extrêmement fort. Par conséquent, quand le courant du laser est modifié pour normalement l'amener à effectuer un balayage en fréquence, au lieu de rester bloqué par rétroaction optique seulement sur une fraction d'intervalle spectrale libre, comme  
5 cela est représenté en figure 4A, le laser a tendance à rester accroché plus longtemps, couramment sur un intervalle plus grand qu'un intervalle spectral libre, et même éventuellement sur deux intervalles spectraux libres ou plus, et ce de façon irrégulière d'un mode à l'autre ou d'un balayage à un autre. La mesure  
10 obtenue n'est alors plus significative puisque l'échantillonnage de la courbe d'absorption n'est plus régulier. Pour pallier cet inconvénient, la présente invention prévoit de placer dans le trajet entre le laser et la cavité un atténuateur réglable, de préférence actif seulement pour atténuer l'onde revenant de la  
15 cavité vers le laser ou plus généralement le taux de couplage laser-cavité. On pourra par exemple choisir un atténuateur de Faraday. On règle cet atténuateur pour que le taux de couplage soit propre à donner une gamme d'accrochage légèrement inférieure à l'intervalle entre les modes de la cavité ou à un  
20 multiple entier de cet intervalle.

Selon un deuxième aspect de la présente invention, les inventeurs ont également montré qu'un autre paramètre important réside dans un accord satisfaisant entre la phase de l'onde émise par le laser et la phase de l'onde renvoyée par la cavité.

25 La figure 5 représente l'allure de la transmission obtenue en sortie d'une cavité quand on balaye la fréquence du laser à travers plusieurs modes de cette cavité avec une rétroaction optique comme cela a été décrit précédemment. La condition de phase laser-cavité peut être modifiée par un  
30 ajustement de la distance  $L_p$  entre le laser et la cavité. Quand cette distance est du même ordre de grandeur que la longueur  $L$  d'un bras de la cavité (en supposant une cavité unique ou une cavité à deux bras égaux), on obtient une courbe sensiblement plate. Quand cette distance devient égale à 95 % de la longueur  
35 de la cavité, on obtient une courbe de transmission telle que

celle représentée en A en figure 5. Pour 85 %, on obtient une courbe telle que celle représentée en B, et pour 70 % on obtient une courbe telle que celle représentée en C. Les autres courbes de la figure 5 sont des courbes intermédiaires.

5           Ainsi, selon un mode de réalisation de l'invention, on se place dans un cas où la distance laser-cavité est égale à la longueur de la cavité ou à un multiple entier de cette longueur pour obtenir une figure de transmission sensiblement plate (ou légèrement croissante) telle que tous les modes de la cavité  
10 balayés par le laser soient également excités au maximum de transmission. Il est encore possible pour des distances laser-cavité judicieusement choisies de n'exciter strictement qu'un mode sur deux, ou sur trois, etc., chacun de ces modes étant également excités au maximum de transmission et l'on obtient une  
15 nouvelle fois une figure de transmission plate ; c'est-à-dire que la distance laser-cavité peut être un sous-multiple entier de la longueur de la cavité (plus éventuellement un nombre entier de fois la longueur de la cavité). On pourra également comme cela est indiqué ci-après se placer dans une autre  
20 configuration à condition de moduler la distance laser-cavité.

La figure 6 représente, en haut, une courbe similaire à celle de la figure 5C. La courbe de transmission de la cavité comprend des groupes de modes pour lesquels l'intensité est relativement forte séparés par des groupes de modes d'intensité  
25 très faible.

D'autre part, si on fait varier la distance laser-cavité de l'ordre d'une demi longueur d'onde, on passe progressivement de la courbe représentée à la ligne supérieure de la figure 6 à la courbe représentée à la ligne inférieure de la figure 6. Ainsi, en moyenne, si l'on effectue plusieurs  
30 mesures et que l'on module la distance laser-cavité sur une plage supérieure à  $\lambda/2$ , on aura en moyenne une courbe plate et, on pourra alors déterminer les facteurs liés à l'absorption de la cavité.

Des exemples de dispositifs mettant en oeuvre l'invention sont illustrés en figures 7 et 8.

En figure 7, le laser est désigné par la référence 1. La cavité 2 est une cavité en V comprenant un miroir d'entrée 6 et des miroirs 7 et 8 disposés sensiblement de la façon représentée pour former une cavité résonante. Le faisceau direct envoyé par le laser est réfléchi par des miroirs 11 et 12 vers la face arrière du miroir 6 et vers le second miroir 7. La lumière réfléchie par le miroir 7 est renvoyée par la face avant du miroir 6 vers le miroir 8. Quand la cavité n'est pas accordée, le faisceau global envoyé par le laser et arrivant sur la face arrière du miroir n'est pas dirigé en retour vers le laser. Le faisceau direct arrivant sur le miroir 7 est renvoyé sur le miroir 6. Toutefois, son intensité à la sortie du miroir 6 est extrêmement faible puisqu'il subit la double atténuation de transmission du miroir 6 et peut être considérée comme négligeable tant que la cavité 2 n'est pas accordée. L'intensité renvoyée devient importante seulement quand la longueur d'onde de résonance de la cavité ( $f_2$  en figure 3C) est envoyée par le laser. C'est alors que le phénomène de rétroaction et d'affinement de raie se produit. Une injection maximum se produit alors dans la cavité. Un photodétecteur 15, disposé par exemple derrière l'un des miroirs 7 ou 8, permet d'étudier la courbe de transmission liée à la présence ou à l'absence d'une raie d'absorption d'une espèce recherchée dans la cavité, comme cela est illustré en figure 2A.

Selon la présente invention, comme cela a été exposé précédemment, on introduit un isolateur de Faraday 20 entre le laser et la cavité. Avec une diode laser, on peut utiliser un isolateur de Faraday ajustable de faible qualité et coût pouvant présenter un taux d'atténuation compris entre 1/10 et 1/1000. Le laser est monté sur un dispositif 21 permettant son réglage en translation et l'un des miroirs de renvoi, par exemple le miroir 12 est monté sur une céramique piézo-électrique 22 pour permettre de contrôler et éventuellement de moduler le chemin

optique sur une plage de l'ordre de la longueur d'onde du laser. Contrairement à ce qui est représenté dans la figure, la distance  $L_p$  entre la face arrière du miroir M1 et la sortie du laser est du même ordre de grandeur que la longueur  $L_1$  d'un bras de la cavité (en supposant que les deux bras ont la même longueur). En outre, on pourra utiliser divers moyens classiques connus des dispositifs antérieurs. Par exemple, on pourra utiliser des séparatrices pour défléchir des parties du faisceau laser vers d'autres photodétecteurs ou vers une cellule de référence qui peut être associée à un détecteur pour permettre un réglage initial du laser.

La figure 8 représente à titre d'exemple une variante de réalisation de l'invention dans laquelle de mêmes éléments qu'en figure 7 sont désignés par de mêmes références. Dans ce mode de réalisation, la cavité résonante 2 est une cavité classique constituée de deux miroirs face à face 6' et 7' et un isolateur à polarisation est disposé entre le laser et la cavité pour empêcher le retour vers le laser d'une réflexion directe sur la face arrière du miroir d'entrée et pour transmettre vers le laser une radiation ayant subi une résonance dans la cavité dont la polarisation a été modifiée au cours des multiples allers-retours.

On prévoira également de préférence dans les deux montages d'autres éléments tels qu'une lentille L pour ajuster les modes transverses du laser et de la cavité.

La figure 9 représente un exemple de transmission d'une cavité selon la présente invention contenant de la vapeur d'eau pour un réglage optimal de la distance laser-cavité. On notera que l'intensité des modes est sensiblement constante (en fait régulièrement croissante) sauf aux emplacements où apparaissent des raies d'absorption de la vapeur d'eau.

#### Influence des modes transverses de la cavité

Dans la description précédente, et plus particulièrement en figure 3C, on a représenté la cavité comme présentant des modes de résonance à des fréquences  $f_2$  séparées les unes des

autres d'un intervalle égal à l'intervalle spectral libre FSR de la cavité. Il s'agissait là d'une simplification. En effet, une cavité est susceptible de résonner sur plusieurs modes transverses électromagnétiques (TEM), généralement désignés par  $TEM_{ij}$ .

5           Pour éviter l'influence de ces modes latéraux, on pourra, comme cela est expliqué dans la demande de brevet PCT WO 99/57542, choisir une cavité réglée pour fonctionner dans un mode proche d'un mode dégénéré, les modes transverses secondaires étant tous regroupés d'un même côté d'un mode  
10 transverse principal correspondant, le laser effectuant un balayage dans le sens partant du côté opposé à celui où se trouvent les modes latéraux secondaires.

Bien entendu, la présente invention est susceptible de diverses variantes et modifications qui apparaîtront à l'homme  
15 de l'art. En particulier, divers types de cavités et divers systèmes d'analyse pourront être utilisés, ainsi que divers systèmes de contrôle de l'intensité et de la phase de la rétroaction. On pourra par exemple utiliser des cavités à deux miroirs confocaux ou des cavités à plus de trois miroirs. La  
20 relation entre la distance laser-cavité et la longueur du ou des bras de la cavité étant choisie en conséquence. On pourra également prévoir des systèmes de régulation de température pour stabiliser notamment la cavité et la cellule de Faraday.

REVENDICATIONS

1. Dispositif de détection de gaz à l'état de traces comprenant :

une cavité optique résonante (2) contenant une espèce chimique à analyser ;

5 un laser sensible à une rétroaction optique (1), couplé par rétroaction optique à la cavité optique et apte à être balayé en fréquence ;

un moyen de réglage du taux de couplage laser-cavité ;

10 un moyen de réglage fin (22) de la phase de la rétroaction optique ; et

un moyen de mesure (15) de la lumière transmise par la cavité.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend un moyen de réglage grossier (21) de la 15 distance du laser à la cavité.

3. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le moyen de réglage fin (22) de la phase de la rétroaction optique est un moyen de réglage de la distance optique laser-cavité.

20 4. Dispositif selon la revendication 3, dans lequel le moyen de réglage fin est un miroir de renvoi monté sur une céramique piézo-électrique (22) disposé dans le chemin optique du laser à la cavité.

25 5. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le moyen de réglage du taux de couplage laser-cavité est un atténuateur optique (20) atténuant la lumière renvoyée par la cavité au laser, tel qu'une cellule de Faraday.

6. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le laser est une diode laser.

30 7. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel la cavité est du type en V, comprenant un premier miroir (6) oblique par rapport à la direction d'incidence du laser, un deuxième miroir (7) orthogonal à la direction d'incidence du

laser, et un troisième miroir (8) formant cavité avec les deux premiers miroirs (6, 7).

8. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel la cavité est une cavité classique à deux miroirs.

5           9. Procédé d'utilisation du dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il consiste à régler le rapport entre la distance laser-cavité et la longueur d'un ou plusieurs bras de la cavité à un nombre entier, à l'inverse d'un nombre entier ou à un rapport de nombres entiers.

10           10. Procédé d'utilisation du dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il consiste à faire varier le chemin optique laser-cavité d'une valeur de l'ordre de la longueur d'onde du laser.



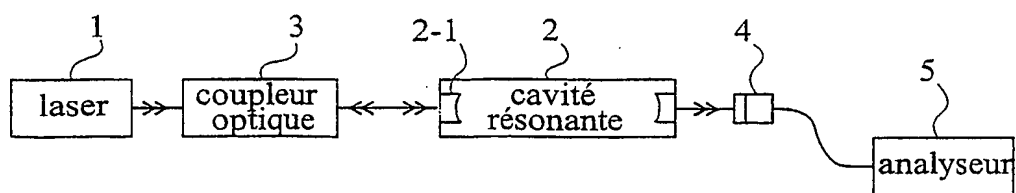


Fig 1

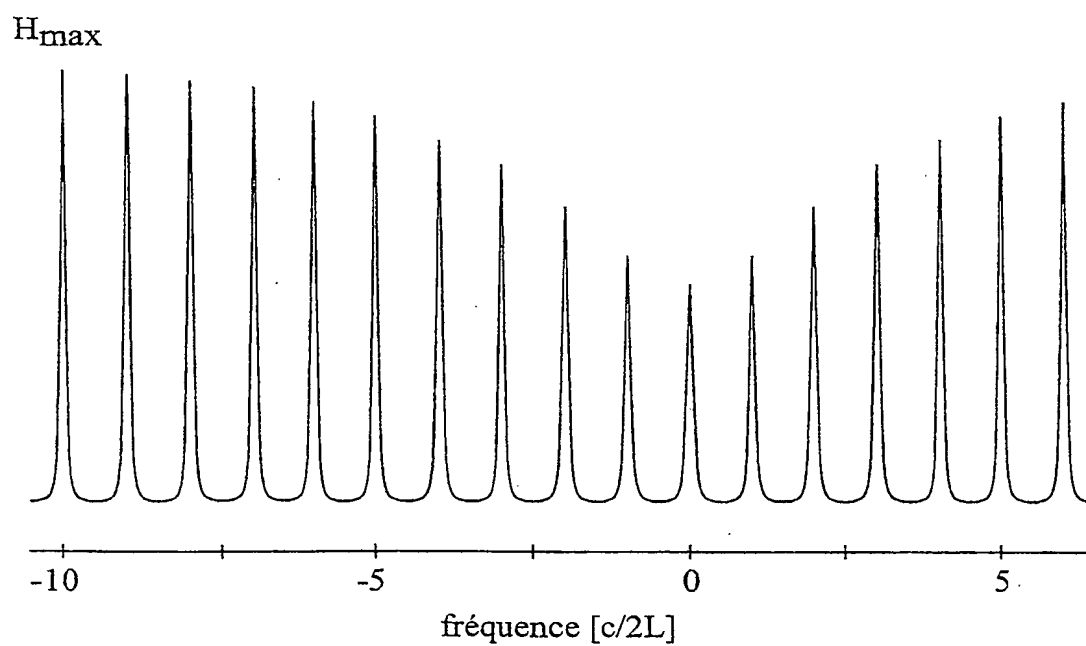


Fig 2A

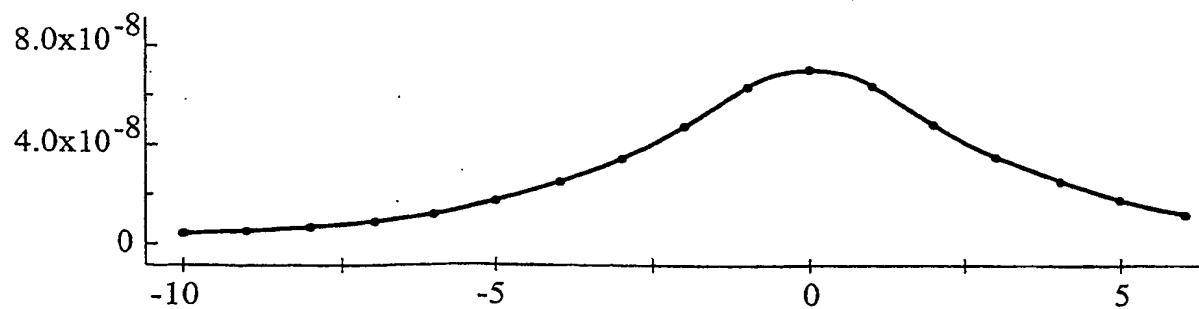


Fig 2B

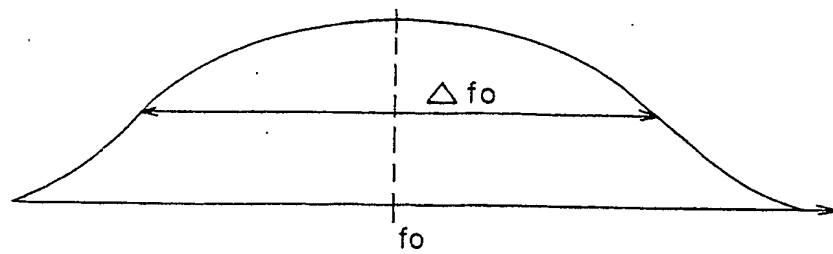


Fig 3A

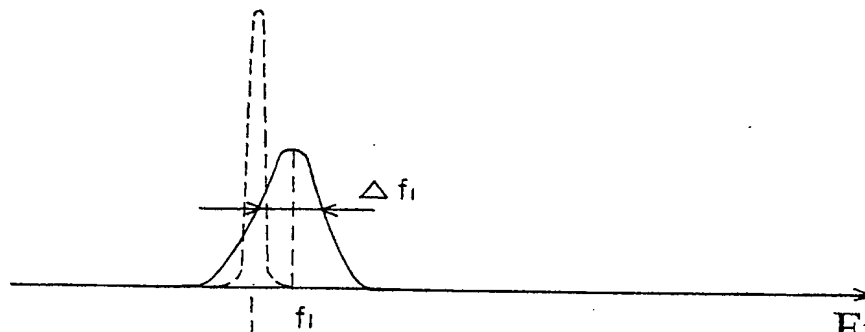


Fig 3B

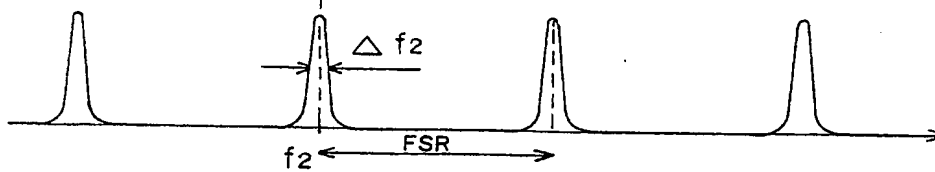


Fig 3C

3/7

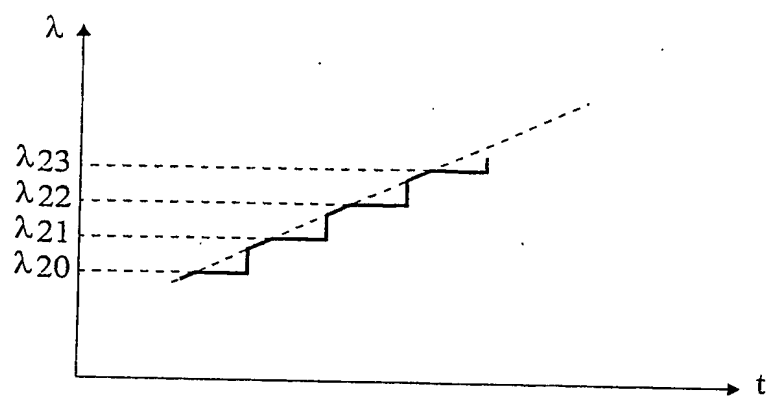


Fig 4A

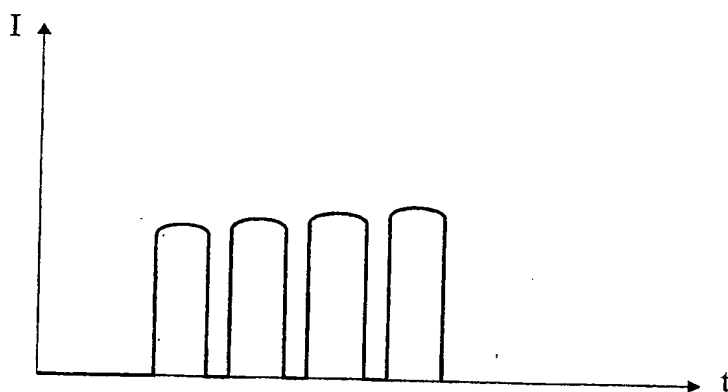
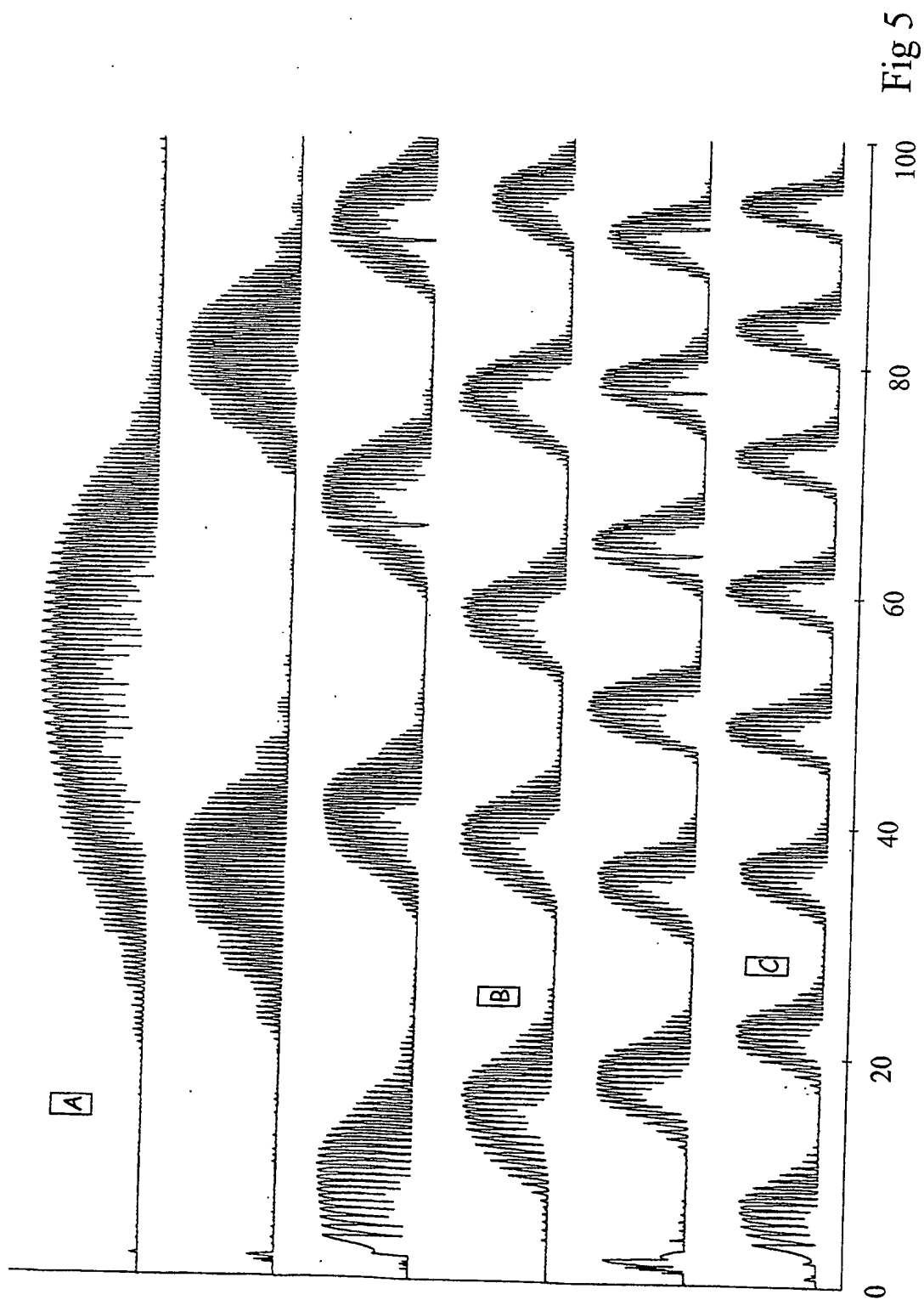


Fig 4B

4/7



5/7

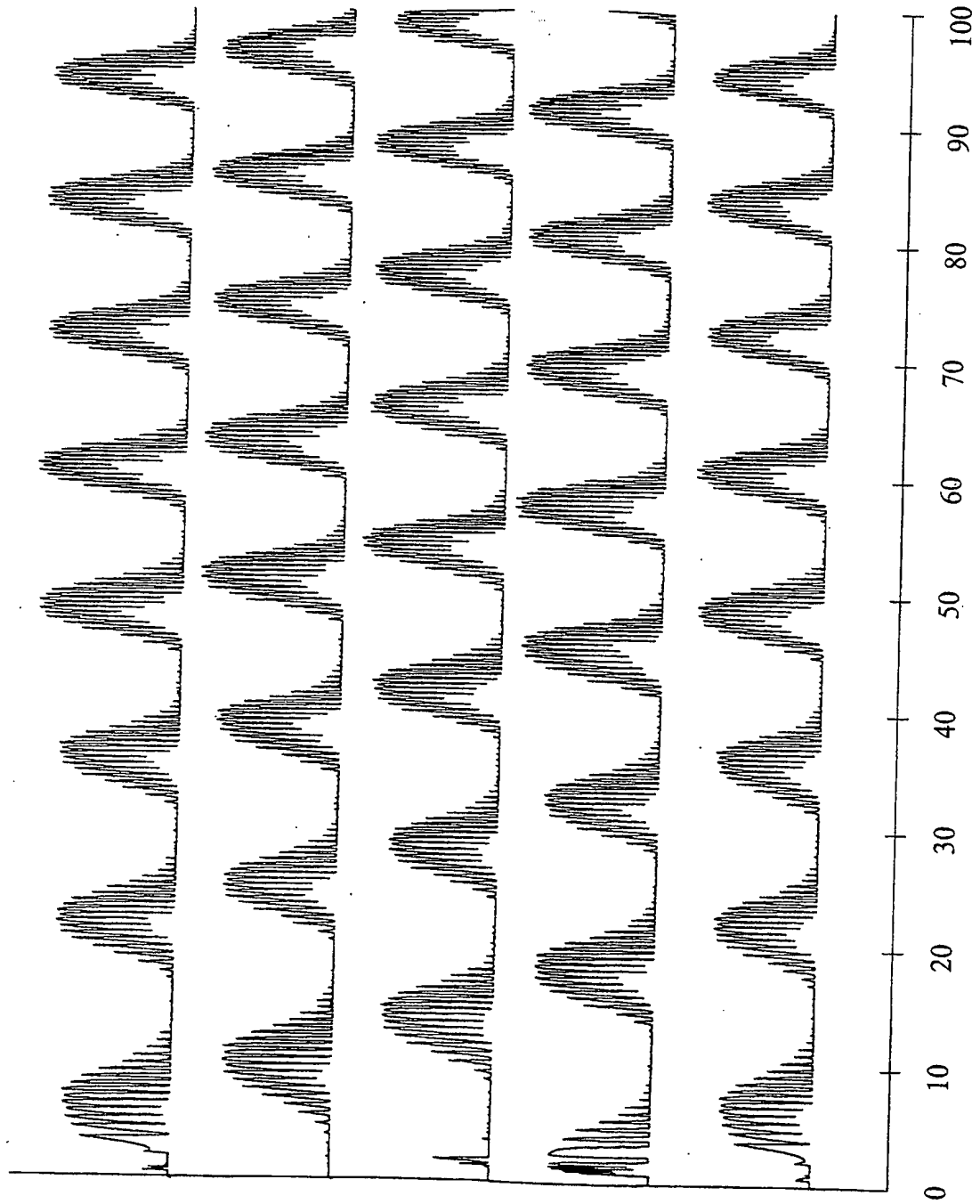


Fig 6

6/7

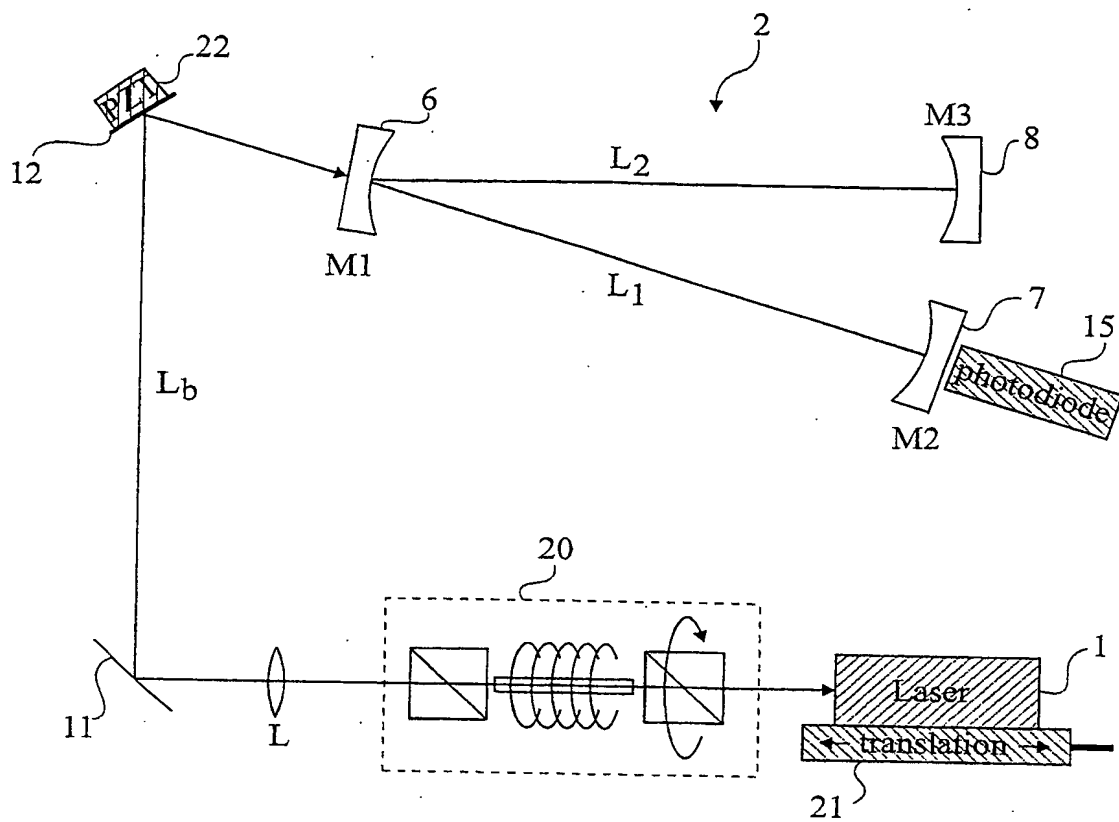


Fig 7

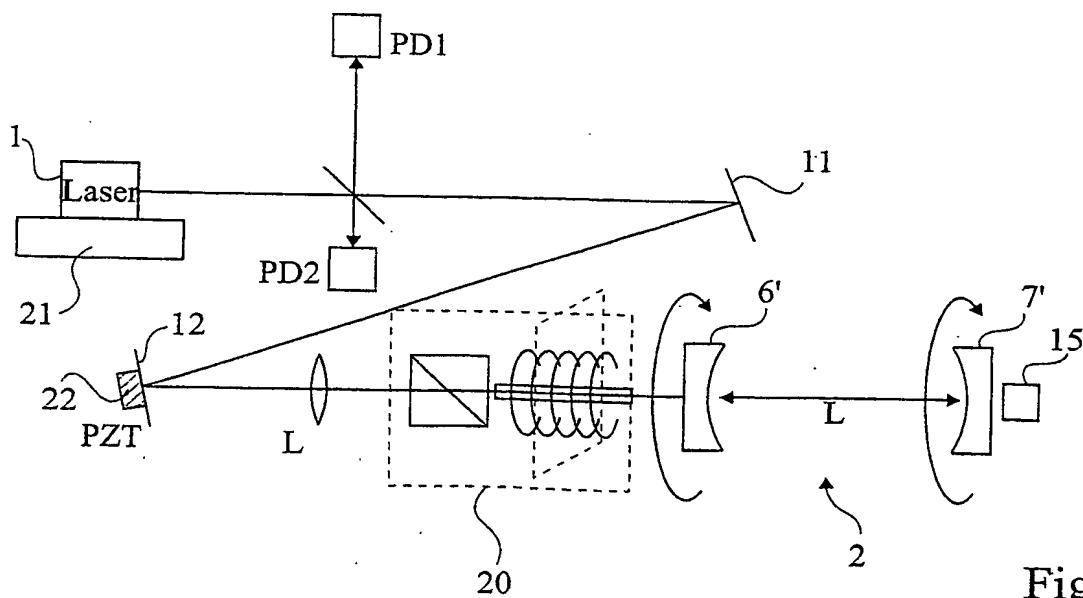
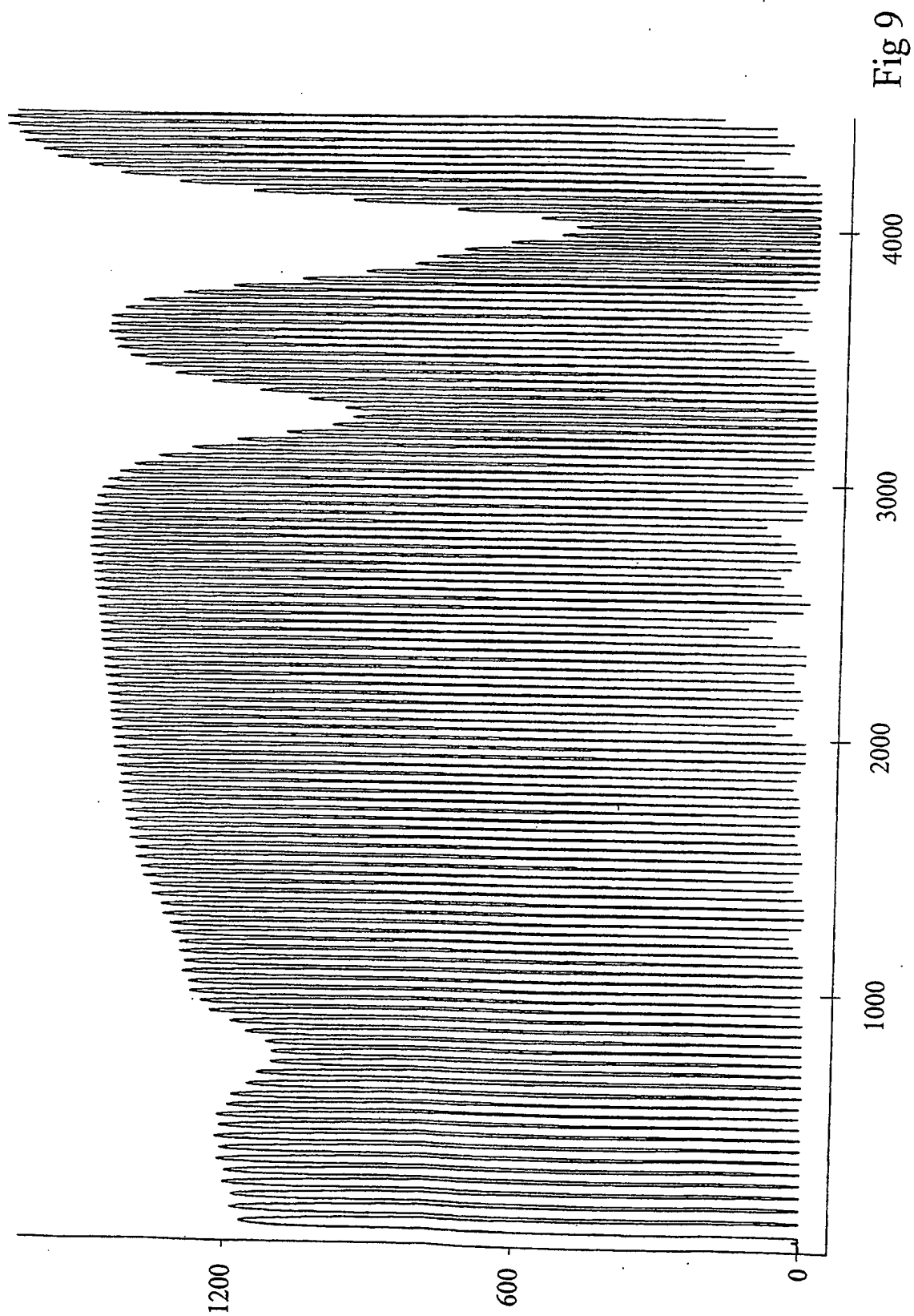


Fig 8

7/7



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/FR 02/03438

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G01N21/39

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 903 358 A (MARTIN JUERGEN ET AL) 11 May 1999 (1999-05-11) abstract; figure 1 ---	1,5,6, 8-10
A	WO 99 57542 A (KATCHANOV ALEXANDRE ;UNIV JOSEPH FOURIER (FR); ROMANINI DANIELE (F) 11 November 1999 (1999-11-11) cited in the application the whole document -----	1,6-10

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

21 January 2003

Date of mailing of the international search report

28/01/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Scheu, M



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 02/03438

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5903358	A	11-05-1999	US 5912740 A	15-06-1999
			US 5815277 A	29-09-1998
WO 9957542	A	11-11-1999	FR 2778244 A1	05-11-1999
			CA 2330531 A1	11-11-1999
			EP 1075651 A1	14-02-2001
			WO 9957542 A1	11-11-1999

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 1992)

## RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No

PCT/FR 02/03438

## A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

CIB 7 G01N21/39

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

## B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 G01N

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 5 903 358 A (MARTIN JUERGEN ET AL) 11 mai 1999 (1999-05-11) abrégé; figure 1	1,5,6, 8-10
A	WO 99 57542 A (KATCHANOV ALEXANDRE ;UNIV JOSEPH FOURIER (FR); ROMANINI DANIELE (F) 11 novembre 1999 (1999-11-11) cité dans la demande le document en entier	1,6-10

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

## \* Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- \*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- \*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- \*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- \*Z\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

21 janvier 2003

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

28/01/2003

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Scheu, M

## RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No

PCT/FR 02/03438

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5903358 A	11-05-1999	US 5912740 A	15-06-1999
		US 5815277 A	29-09-1998
WO 9957542 A	11-11-1999	FR 2778244 A1	05-11-1999
		CA 2330531 A1	11-11-1999
		EP 1075651 A1	14-02-2001
		WO 9957542 A1	11-11-1999

Formulaire PCT/ISA/210 (annexe familles de brevets) (juillet 1992)